

# 日本学生一流女子走幅跳選手における競技記録および各種垂直跳パフォーマンスの変化-大学1年生から2年生まで-

著者	大宮 真一，堤 毅，北風 沙織，奥塚 みなみ
雑誌名	北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報
号	3
ページ	7-16
発行年	2012
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1136/00001379/">http://id.nii.ac.jp/1136/00001379/</a>

日本学生一流女子走幅跳選手における  
競技記録および各種垂直跳パフォーマンスの変化  
—大学1年生から2年生まで—

Changes in the official records and various vertical jump performances  
in Japanese university top woman long jumper  
—From a first year to a second year in university—

大 宮 真 一<sup>1)</sup> 堤 毅<sup>2)</sup> 北 風 沙 織<sup>3)</sup> 奥 塚 みなみ<sup>4)</sup>

Shin-ichi OMIYA<sup>1)</sup> Tsuyoshi TSUTSUMI<sup>2)</sup> Saori KITAKAZE<sup>3)</sup> Minami OKUZUKA<sup>4)</sup>

キーワード：跳躍距離，垂直跳，縦断的研究，踏切，キネマティクス

## I. 緒 言

走幅跳は、跳躍距離を競う助走を伴った片脚踏切の水平跳躍運動であり、運動の特徴から助走、踏切、空中および着地の4局面で構成されている。走幅跳の跳躍距離は助走速度と高い正の相関関係にある<sup>10)</sup>ことが報告されており、助走速度の優劣が跳躍距離を決定づけると言っても過言ではない。しかし、走幅跳は単に助走速度が高いだけでは大きな跳躍距離が獲得できるわけではなく、踏切において助走速度で得た水平方向の速度を効率よく鉛直速度に変換する能力が要求される<sup>8,10,12,14)</sup>。このとき踏切では約0.15秒以内に体重の7-10倍の負荷がかかり大きなパワー発揮が要求される<sup>6)</sup>ことから、踏切には体力的な要素も強く関わっていると考えられる。そのため、走幅跳選手を含めた跳躍選手における体力としての基礎的なジャンプ能力の重要性について検討されている<sup>7,20,24,26)</sup>。

基礎的なジャンプ能力は跳躍選手の競技記録と密接に関係している<sup>20,24,26)</sup>ことが報告されており、図子<sup>24)</sup>は定期的にコントロールテストとしてジャンプ能力を測定評価し、トレーニングの進行状況や競技レベルの向上に伴うデータの変化に伴うデータの変化を定期的かつ縦断的に蓄積することが重要であると指摘している。これらの研究により、跳躍選手に対して体力トレーニングを実施する際の有益な知見や指標が得られている。しかし、実

際の競技記録とジャンプ能力との関係が強いと報告されているのにも関わらず、それぞれがどのように対応しながら変化していくのかといった縦断的な研究についてはほとんど見当たらない。また、選手個人の特徴に合わせてトレーニングを構成していく上で事例的な研究を積み重ねていくことにより非常に有益な情報となりうると考えられる<sup>4,11)</sup>が、日本一流の走幅跳選手を対象としたものは見当たらない。このようなデータを積み重ねていくことにより今後走幅跳のタレント発掘や指導のためのトレーニング指標を得ることができると考えられる。

そこで本研究では、北海道出身の日本学生一流女子走幅跳選手を対象として、2010年から2011年の2年間の競技記録の変遷と各種垂直跳のパフォーマンスの変化について検討し、また2年間で特定の試合における踏切のキネマティクスの変化についても事例的に報告し、走幅跳の踏切における体力および技術トレーニングの示唆を得ることを目的とした。

## II. 方 法

### 1. 対象者

対象者は、北海道内の大学陸上競技部に所属する女子走幅跳選手1名（以下、YH）であった。この選手は、現在北海道および北海道学生記録保持者であり、2010年には日本陸上競技選手権大会で6位入賞、2011年には日

1) 北翔大学短期大学部こども学科

2) 北翔大学生涯スポーツ学部非常勤講師

3) 北海道ハイテク AC

4) さっぽろ健康スポーツ財団

本学生陸上競技対校選手権大会で7位入賞するなど日本学生のトップレベルの選手であった。また、2006年（中学3年生）の全日本中学陸上競技大会において優勝、2007年（高校1年生）および2008年（高校2年生）全国高校総体陸上競技大会でそれぞれ3位、2009年（高校3年生）国民体育大会陸上競技大会少年A女子走幅跳で優勝しており、中学・高校時においても全国のトップで活躍した実績を持っている選手であった。

2010年から2011年まで2年間の試合出場に関する記録を収集し、その間の身体コンディションについて対象者本人から聞き取り調査を実施した。

## 2. 測定項目

### 1) ジャンプパフォーマンス

対象者は、試合期およびトレーニング期においてトレーニング状況を把握するためにコントロールテストを実施している。特に、北海道は夏季と冬季ではトレーニング環境が大きく異なり、冬季において屋外は雪に閉ざされるため、ほぼ室内での活動となる。コントロールテストでは立幅跳や立五段跳などの水平跳躍種目における跳躍距離を測定しているが、屋外では砂場に向かって全力で跳躍するが、室内では砂場がないため安全の確保も考慮すると全力が出せないこともあり跳躍距離に大きく差が出る。このように水平跳躍種目は夏季と冬季での測定条件が異なるのに対して、垂直跳は室内での測定となることから年間でいかなる時期においても同一条件で測定が可能である。したがって、本研究では反動なしの垂直跳（Squat Jump, 以下 SJ）、反動ありの垂直跳（Counter-movement Jump, 以下 CMJ）および5回の連続リバウンドジャンプ（5 Rebound Jump, 以下 5RJ）を採用した。なお、いずれの跳躍も腕の振込動作を排除するために手を腰に当てた姿勢で実施した。

各垂直跳のパフォーマンスの指標として、SJ および CMJ は跳躍高、5RJ においては跳躍高（RJ-H）、接地時間（RJ-CT）および RJ-index を用いた。全ての跳躍運動は、マットスイッチ（ディケイエイチ社製、マルチジャンプテスト）上で行わせ、滞空時間（Air time：AT）および接地時間（RJ-Contact Time：RJ-CT）を測定した。跳躍高は、以下の式に代入することにより算出した。

跳躍高 =  $1/8 \cdot g \cdot AT^2$   $g$  は重力加速度 ( $9.81m/s^2$ )

RJ-index は、跳躍高（RJ-H）を接地時間（RJ-CT）で除すことにより算出し、5回の跳躍のうち RJ-index が最高値を示したものを分析に用いた<sup>5,15)</sup>。

なお、2年間で13回の測定を実施した（表1）。

### 2) 走幅跳

#### (1) ビデオ撮影およびデータ処理

2010年の第62回北海道学生陸上競技対校選手権大会

（以下、HIC2010）と2011年の第63回北海道学生陸上競技対校選手権大会（以下、HIC2011）での女子走幅跳における公式試合での踏切動作を撮影した。分析対象試技は、予選および決勝を合わせた計6回の試技のうち最も記録のよい試技とした。

踏切位置の側方30mに設置したハイスピードカメラ（CASIO 社製、EX-FX25）を用いて、走幅跳の踏切動作を毎秒120フィールド、露出時間1/2000で固定撮影し、試合の前後に踏切地点にはビデオ画像の縮小率を示すスケールとして1m間隔で較正マークを設置し撮影した。

画像上の身体部分点（手先、手首、肘、肩峰、つま先、母指球、踵、外果、膝関節中心、大転子、および頭頂、耳珠点、胸骨上縁）および較正マークをビデオ解析動作システム（ディケイエイチ社製、Frame-DIAS II for windows Ver.3）を用いて1コマごとにデジタイズした。分析は、踏切接地5コマ前から踏切離地5コマ後まで行った。得られた身体部分点の二次元座標は、較正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数を Wells and Winter<sup>19)</sup>の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて4.8–9.6Hzの範囲で平滑化した。

#### (2) 算出項目および算出方法

画像解析により、踏切時のキネマティクスを算出した。また、身体重心に関する速度および角度の定義を図1に示した。なお、身体重心の算出には阿江<sup>3)</sup>の身体部分慣性係数を用いた。

- ①踏切における身体重心速度：踏切接地時における水平速度（ $HV_{TD}$ ）と鉛直速度（ $VV_{TD}$ ）との合成速度を踏切速度（ $V_{TD}$ ）、踏切離地時における水平速度（ $HV_{TO}$ ）と鉛直速度（ $VV_{TO}$ ）の合成速度を踏切初速度（ $V_{TO}$ ）とした。また、踏切脚における膝関節の最大屈曲時の鉛直速度（ $VV_{MKF}$ ）も算出した。
- ②水平速度の減少量（ $HV_{TD-TO}$ ）： $HV_{TD}$  から  $HV_{TO}$  を減じた値。
- ③踏切後半における鉛直速度の増加量（ $VV_{MKF-TO}$ ）： $VV_{TO}$  から  $VV_{MKF}$  を減じた値。
- ④跳躍角度（ $\theta_{CG_{TO}}$ ）：水平速度ベクトルと踏切初速度ベクトルとがなす間の角度。
- ⑤踏切時間（CT）：踏切で足が接地している時間をフレーム数から算出した。
- ⑥踏切脚の股関節角度（ $\theta_H$ ）：踏切接地時（ $\theta_{H_{TD}}$ ）、最大屈曲時（ $\theta_{H_{MKF}}$ ）および離地時（ $\theta_{H_{TO}}$ ）の角度を算出した。また、 $\theta_{H_{TO}}$  から  $\theta_{H_{TD}}$  を減じて股関節角度伸展量（ $\theta_{H_{TD-TO}}$ ）を算出した。
- ⑦踏切脚の膝関節角度（ $\theta_K$ ）：踏切接地時（ $\theta_{K_{TD}}$ ）、最大屈曲時（ $\theta_{K_{MKF}}$ ）および離地時（ $\theta_{K_{TO}}$ ）の角度を算出し、 $\theta_{K_{MKF}}$  から  $\theta_{K_{TD}}$  を減じて踏切中の膝関節

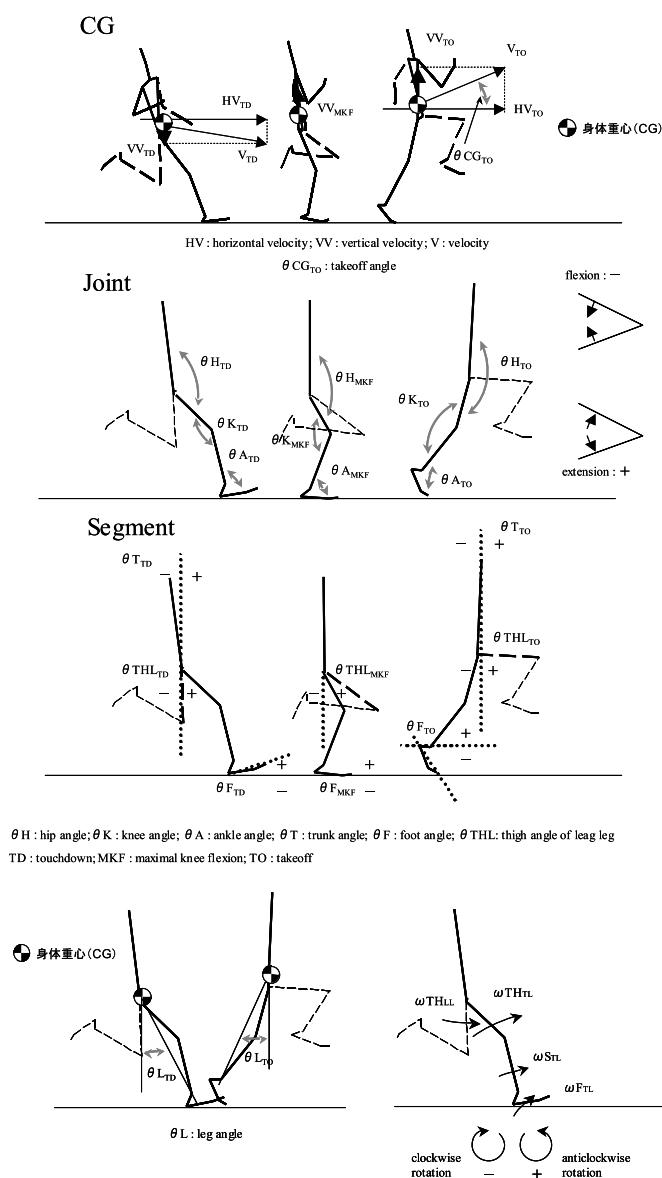


図1 踏切時の身体重心速度、角度および角速度の定義

角度屈曲量 ( $\theta K_{TD-MKF}$ ), および  $\theta K_{TO}$  から  $\theta K_{MKF}$  を減じて膝関節角度伸展量 ( $\theta K_{MKF-TO}$ ) を算出した。また, 角度変位に時間微分することによって角速度を算出し, 膝関節最大屈曲角速度 ( $\omega K_{fle}$ ) および膝関節最大伸展角速度 ( $\omega K_{ext}$ ) を算出した。

- ⑧踏切脚の足関節角度 ( $\theta A$ ) : 踏切接地時 ( $\theta A_{TD}$ ), 最大屈曲時 ( $\theta A_{MKF}$ ) および離地時 ( $\theta A_{TO}$ ) の角度を算出した。
- ⑨上体角度 ( $\theta T$ ) : 両大転子を結ぶ線分の中点から上方に伸びる鉛直線と胸骨上縁を結ぶ線分がなす角度。踏切接地時 ( $\theta T_{TD}$ ) および離地時 ( $\theta T_{TO}$ ) の角度を算出し, 離地時の角度 ( $\theta T_{TO}$ ) から接地時の角度 ( $\theta T_{TD}$ ) を減じて上体角度変化量 ( $\theta T_{TD-TO}$ ) を算出した。

- ⑩踏切脚の足部角度 ( $\theta F$ ) : 踏切接地時 ( $\theta F_{TD}$ ), 膝関節の最大屈曲時 ( $\theta F_{MKF}$ ) および離地時 ( $\theta F_{TO}$ ) の角度を算出し,  $\theta F_{TD}$  から  $\theta F_{TO}$  を減じて踏切中の足部角度回転量 ( $\theta F_{TD-TO}$ ) を算出した。

- ⑪振上脚の大腿角度 : 踏切接地時 ( $\theta THL_{TD}$ ), 最大屈曲時 ( $\theta THL_{MKF}$ ) および離地時 ( $\theta THL_{TO}$ ) の角度を算出し, また, 角度変位に時間微分することによって角速度 ( $\omega LTh$ ) を算出した。

- ⑫脚角度 ( $\theta L$ ) : 身体重心から下方に伸びる鉛直線と踏切脚の外果を結ぶ線分がなす角度<sup>13)</sup>。踏切接地時 ( $\theta L_{TD}$ ) および離地時 ( $\theta L_{TO}$ ) の角度を算出した。

### Ⅲ. 結果および考察

- (1) 2010年から2011年までの競技成績の変遷と身体コンディション

表2は, YHの2010年から2011年までの公式試合に出場した競技成績およびその試合に関する特記事項を示したものである。

YHは, 先述したように中学・高校時に優れた競技成績を収めている。大学に入学後, 2010年では5月の北海道学生陸上競技対校選手権大会において優勝し, その後6月の日本陸上競技選手権大会で6位入賞, そして7月北海道陸上競技選手権大会において6m06の自己新記録, 北海道記録および北海道学生記録を樹立した。このように7月までは順調にきていたが, 8月の国民体育大会北海道予選の1週間後にトレーニング中に足首を捻挫し, 約2週間の治療およびリハビリテーションの期間を置くこととなった。そのため, 大学生としては国内年間の最重要試合である9月の日本学生陸上競技対校選手権大会は棄権している。9月の半ばから徐々に走および跳躍のトレーニングを始め, 復帰第1戦であった10月の千葉国民体育大会に完全な調子でないものの7位入賞, その後の日本ジュニア陸上競技選手権大会にて6m00を記録して締めくくった。2010年度は, 日本陸上競技選手権に初出場ながら入賞するなど大学生として幸先の良いスタートを切ったが, 8月末の足首の捻挫によるトレーニングの中断により右肩上がりの競技結果を残すことができなかった。

それから, 2010年11月より2011年の試合期に向けて冬季トレーニングが開始されたが, 順調なトレーニング状況とはいかなかった。それは2011年新年早々, 副鼻腔炎を煩い, 1月中旬から2週間の入院生活を送ることとなったため, 冬季トレーニングが中断され, 復帰までに時間を要することとなった。これが尾を引き, 2011年の試合期に入ると4月末および5月初頭の試合では自己記録更新に至るような結果を出すことができなかった。そして,

表 1 形態と垂直跳パフォーマンス

月日	身長	体重	SJ	CMJ	5RJ		
	cm	kg	跳躍高 (m)	跳躍高 (m)	RJ-index(m/s)	接地時間(sec)	跳躍高(m)
2010/4/11	158	50.0	0.409	0.441	2.941	0.145	0.426
4/20	158	49.8	0.372	0.419	2.512	0.159	0.399
5/12	158	49.5	0.414	0.454	2.852	0.144	0.411
6/30	158	49.0	0.383	0.409	2.804	0.149	0.418
7/7	158	49.0	0.412	0.456	2.607	0.163	0.425
7/28	158	48.8	0.414	0.468	3.164	0.145	0.459
11/1	158	48.9	0.412	0.460	2.444	0.160	0.391
12/6	158	49.0	0.418	0.406	2.318	0.161	0.373
2011/2/3	158	48.5	0.361	0.432	2.192	0.157	0.344
2/27	158	48.8	0.432	0.450	2.474	0.152	0.376
12/22	158	48.3	0.474	0.510	2.862	0.145	0.415
2012/1/10	158	48.5	0.448	0.474	3.118	0.134	0.418
2/29	158	48.2	0.394	0.456	2.580	0.140	0.361

ようやく 5 月末の北海道学生陸上競技対校選手権大会において走幅跳では自己記録にあと10cm と迫る 5 m96で大会新記録での優勝となったがその 2 日前の三段跳の試合中に仙腸関節に違和感を覚えていた。その違和感があるままトレーニングを継続していたため、6 月の日本陸上競技選手権大会でその違和感が激痛に変わるほどになっており、試合出場はしたものの踏み切ることができないまま試合は終わり、仙腸関節は捻挫と診断され7月末まで治療とリハビリテーション期間を設けることになった。その後、リハビリトレーニングは順調に進み、8 月には山口国民体育大会の成年女子走幅跳北海道代表を獲得し、9 月の日本学生陸上競技対校選手権大会では 7 位入賞した。この大会での記録は 5 m82ではあったが、6 回のうちファールした試技においては 6 mをはるかに超える跳躍を見せたものがあった。この試合での運動感覚として、かなり助走速度は出ていたが、踏切板に合わせられるような助走ができていなかった、と HY 本人は言っており、すなわち助走速度が高いことに伴った踏切技術を持ち合わせていなかったことを意味するものと考えられる。その後の北海道学生陸上競技選手権にて自己タイ記録の 6 m06で優勝および大会新記録という結果を収めたが、山口国民体育大会では 3 m24と全く踏切板に合わせて跳躍ができずに残り 2 回の試技では跳躍したもののファールのため記録が残せなかった。そして2011年度の試合期は終了した。

2010年から2011年の 2 年間の試合期を総括すると、それぞれの年に 6 m06を跳躍しており、試合結果は日本学生のトップであることは明らかとなったが、怪我や病気によってトレーニングを中断することが度々あったため、継続的または長期的なトレーニングを行うことができなかったことに伴い競技パフォーマンスのピークを作るこ

とが困難であったと考えられる。そこで、2 年間に試合と試合の間、さらには冬季トレーニング中に測定してきたコントロールテストによってトレーニング状況を把握してきた。中でも跳躍選手の競技パフォーマンスと関係がある垂直跳のパフォーマンスの変動が競技結果にどのような影響を及ぼしているかについて、さらに女子選手は形態も競技パフォーマンスに影響することが報告されていることから併せて以下に考察することとする。

## (2) 形態および垂直跳パフォーマンスの変化

表 1 に 2 年間のコントロールテスト内で測定した身長、体重および各種垂直跳パフォーマンスの結果を示した。

身長は 2 年間を通じて変わっていないが、体重においては2010年 4 月から 2 年間を通して1.1kg 減った。女性は男性と比較して、思春期以降においてホルモンの影響により筋量は増加しにくく、脂肪量が増加しやすくなると指摘されている<sup>18)</sup>。また、女子短距離選手において、100 m走の自己記録と脂肪量や体脂肪質との間には有意な関係は認められなかったが、除脂肪体重との間に有意な負の相関関係が認められたことが報告されている<sup>17)</sup>。女子は男子よりも脂肪の占める比率が高く、女子選手の場合にトレーニングの方向を考える上で身体組成への配慮が重要であることが示唆されている。このような状況を考慮すると、女子選手の身体組成が競技パフォーマンスに少なからず影響を及ぼすことを意味している。本研究において、体脂肪率や除脂肪体重などを測定していないため、体重の減少に対してこれらの身体組成の要因のどのように変化した結果のものであるかについては明らかにできないが、走幅跳の自己ベストが高校時から更新できていることを踏まえると、身体組成の何らかの変化に伴う体重の減少が少なくとも筋量が減少したり筋機能が低

表2 2年間の競技成績および競技に関わる特記事項

日時	大会名	種目	記録	風	順位	場所	特記事項
2010/5/3	第26回静岡国際陸上競技大会	走幅跳	5m70	-0.2	13位	静岡・小笠山	予選落ち。大学入学後の調整不足による不調。
5/22	第62回北海道学生陸上競技対校選手権大会	100m	12" 82	-1.4	5位	札幌円山	
5/23		走幅跳	5m76	+3.2	1位		試合中は強風の追い風が吹き荒れる。
6/6	第94回日本陸上競技選手権大会	走幅跳	5m86	+0.4	6位	香川・丸亀	試合中、非常に風向きが不安定の中での入賞
6/20	2010日本学生陸上競技個人選手権大会	走幅跳	5m66	+3.3	11位	神奈川・平塚	不調により、予選落ち。
7/11	第23回南部忠平記念陸上競技大会	走幅跳	5m94	+2.9	2位	札幌円山	6回の試技において、尻上がりに調子を上げ6回目が高記録
7/17	第83回北海道陸上競技選手権大会	走幅跳	6m07	+2.4	1位	室蘭入江	公認記録6m06(+0.6)が自己ベスト記録、北海道・北海道学生記録樹立、大会新記録。6回の試技中5回が6m越え。
8/7	第5回スプリントトライアスロン	100m	12" 66	-2.3	総合2位	札幌円山	
		200m	25" 62	±0.0			
		400m	58" 94				
8/22	第65回国民体育大会陸上競技北海道選手選考会	走幅跳	5m86	+1.7	1位	帯広の森	国体北海道代表内定
10/3	第65回国民体育大会陸上競技大会	走幅跳	5m93	+1.4	7位	千葉県総合	8月末の足首捻挫の怪我からの復帰第1戦
10/17	第26回日本ジュニア陸上競技選手権大会	走幅跳	6m00	+2.0	3位	愛知・瑞穂公園	
2011/4/30	道央記録会第1戦	100m	12" 85	+0.4		千歳青葉	
5/3	第27回静岡国際陸上競技大会	走幅跳	5m53	±0.0	11位	静岡・小笠山	予選落ち。1月の病気による入院から冬季トレーニングの出遅れが響く。
5/7	道央記録会第2戦	走幅跳	5m76	+1.5		千歳青葉	4日前の大会から20cm記録が向上。
5/20	第63回北海道学生陸上競技対校選手権大会	三段跳	10m97	+1.0	3位	札幌円山	この試合中に仙腸関節に違和感が生じる。
5/22		走幅跳	5m96	+0.9	1位		大会新記録。5/3から19日間で43cm向上。
6/12	第95回日本陸上競技選手権大会	走幅跳	記録なし			埼玉・熊谷	仙腸関節の違和感が激痛に変化し、この怪我によりまともに踏切ができない。
7/31	第24回南部忠平記念陸上競技大会	走幅跳	5m71	-0.5	2位	函館千代台	助走中にあらゆる方向からの風が吹く。
8/21	第66回国民体育大会陸上競技北海道選手選考会	走幅跳	5m87	+1.3	1位	釧路市民	国体北海道代表内定
9/11	第80回日本学生陸上競技対校選手権大会	走幅跳	5m82	+1.3	7位	熊本・KKWING	踏切板を数cm越えたファール試技において6mを大きく越えたものもあった。
9/25	第40回北海道学生陸上競技選手権大会	走幅跳	6m06	+1.3	1位	千歳青葉	自己ベスト・北海道・北海道学生タイ記録、大会新記録
		200m	25" 57	+2.3	4位		
10/9	第66回国民体育大会陸上競技大会	走幅跳	3m24	-0.2	22位	山口・維新百年記念	予選落ち。助走からの踏切のタイミングが合わない。

は、動作分析対象としたの被検競技会

下するなどマイナスの方向に変化はしてはいないと推察できよう。

次に、垂直跳のパフォーマンスについて、本研究ではSJおよびCMJの最高記録は2011年12月22日にそれぞれ記録した0.474mおよび0.510m、5RJにおけるRJ-indexの最高記録は2010年7月28日に記録した3.164m/s（接地時間：0.145sec、跳躍高：0.459m）であった。これまで、深代<sup>7)</sup>は跳躍選手の体力特性において、日本女子トップ走幅跳選手（自己記録6m17）のSJが0.355m、CMJが0.350mであったことを報告している。図子<sup>24)</sup>も同様に日本女子一流走幅跳選手の2名のジャンプ能力のデータについて、自己記録が6m14の選手のCMJが0.473m、RJ-indexが3.08m/s（接地時間：0.135sec、跳躍高：0.415m）、6m61の選手においてはCMJが0.509m、RJ-indexが3.63m/s（接地時間：0.144sec、跳躍高：0.523m）であったことを報告している。これらの報告をもとにすると、YHの垂直跳におけるジャンプ能力は上記の日本一流選手6m14および6m17の選手と比較して3種目とも高い値を示し、6m61の選手と比較して低い値であった。したがって、YHのジャンプ能力は走幅跳の自己記録からすると妥当なものであったと考えられる。

図2に2年間に測定した垂直跳パフォーマンスの変化を示した。図2をみると、ジャンプ3種目の跳躍高およびRJ-indexはそれぞれほぼ同様な変動様相を示した。SJ、CMJおよびRJの跳躍高は主に筋力や瞬発力に影響される<sup>22)</sup>ため、身体コンディションによって同じような変動がみられたものと考えられる。一方、5RJの接地時間（RJ-CT）においては、RJ-indexおよびRJの跳躍高（RJ-H）の変動と逆の様相を示した。つまり、RJ-Hが大きければ接地時間は短く、反対に跳躍高が小さければ接地時間は長い傾向にあるということである。これまでにリバウンドドロップジャンプにおいて、この運動の跳躍高と接地時間との間に有意な相関関係が認められなかったことから、これらの変数がそれぞれ独立した能力である<sup>22)</sup>ことを示し、跳躍高の獲得する能力には上述した筋力や瞬発力が影響し、接地時間を短縮する能力には着地に対する時間的空間的な予測をもとにして、主働筋を適切に予備緊張させる運動プログラムが影響していることが報告されている<sup>23)</sup>。これらの結果は、個人間で検討していることから跳躍高の獲得能力に優れる者または接地時間を短縮する能力に優れる者といった個人の特性が含まれているためと考えられる。本研究においてYH個人内で両者の能力を検討した場合それぞれの能力が影

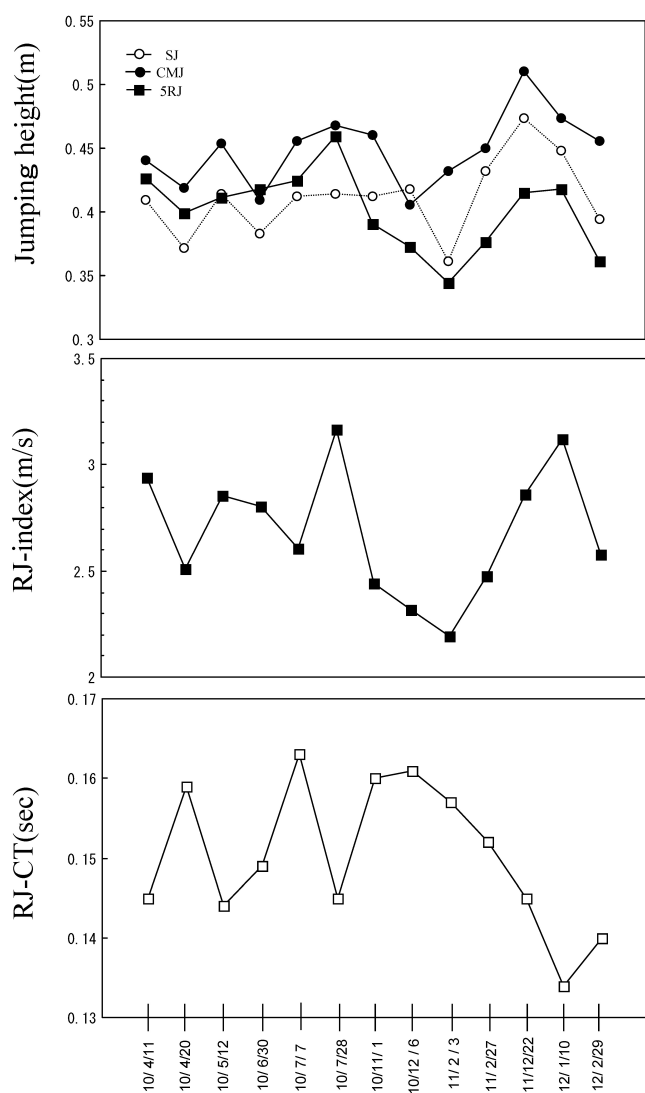


図2 2年間の垂直跳パフォーマンスの変化

響している可能性があるが、今回の事例研究でのコントロールテスト実施回数が少ないことを考慮すると、より一層データの収集した上でリバウンドジャンプ能力に関わる要因間の関係についても検討することが必要である。

次に、SJ、CMJ および RJ-index の変動性が類似していることから、RJ-index を例にとり競技結果の変遷との対応関係について検討する。2011年は、シーズン中において怪我などの理由から定期的に測定することができなかった。そのため、2010年を取り上げて報告することにする。7月17日の北海道陸上競技選手権大会においては6 m06で自己新記録そして北海道記録および北海道学生新記録を樹立している（表1）。この試合後の7月28日におけるジャンプ能力測定においては現時点で最高記録である3.164m/sを記録している（図2）。したがって、7月中旬から後半にかけて身体コンディションのピークが現れていた可能性がある。この期間を基準として、4

月、5月および6月のRJ-indexをみると2.512–2.941 m/sの範囲内であった。また競技結果においては、静岡国際陸上競技大会で5 m70 (–0.2)、北海道学生陸上競技対校選手権大会5 m76 (+3.2)、日本学生個人選手権大会5 m66 (+3.3) および南部忠平記念陸上競技大会5 m94 (+2.9) で追い風参考記録でありながらも6 m00を超えることができないほど身体コンディションが低下していたことが伺える。したがって、ある程度RJ-indexの変動と走幅跳の競技結果が対応していることを示すものであったと言える。

### (3) 2010年と2011年における踏切時のキネマティクスの比較

本研究では、北海道学生陸上競技対校選手権大会を被検試合とし、2大会における踏切のキネマティクスについて事例的に報告する。表3には、2試合の踏切時のキネマティクスを示した。

2010年は追い風3.2mの参考記録で5 m76、2011年は追い風0.9mの中で5 m96を記録し、その差は20cmであった（表1）。助走速度を特に反映している踏切接地時の踏込速度 ( $V_{TD}$ ) を見ると、2010年は8.63m/s、2011年は8.59m/sでほぼ同じであった。先述したように跳躍距離は助走速度の影響を強く受ける<sup>10)</sup>が、踏切離地時の踏切初速度 ( $V_{TO}$ ) は2010年が7.51m/s、2011年が7.80 m/sで、2011年が高い値を示した。したがって、2010年と2011年における跳躍距離の20cmの差は踏切技術の差が影響しているものと考えられる。

踏切は極めて短時間に遂行され、助走で得た速度は水平速度の減速を伴いながら鉛直速度に変換される<sup>14)</sup>。その結果、踏切離地時には跳躍角度 ( $\theta_{CG_{TO}}$ ) を得て空中へと飛び出すことになるが、本研究では2010年が22.8 deg、2011年が22.9degとほぼ同じであった。一方、水平速度の減少量 ( $HV_{TD-TO}$ ) と鉛直初速度 ( $VV_{TO}$ ) をみると、この順でそれぞれ2010年が–1.70m/sと2.92m/s、2011年が–1.40m/sと3.04m/sであり、2011年の方が踏切における水平速度の減速が小さいのにも関わらず高い鉛直速度を獲得していた。したがって、これらの身体重心速度の変化が上述の踏切初速度 ( $V_{TO}$ ) の差として反映したと考えられる。

次に、踏切における身体重心速度の変化に影響を及ぼす踏切動作について数多く報告されている。踏切では高い水平速度を維持しながら、鉛直速度を獲得することが目標となる。そのうち、鉛直速度を得るためには、①足部を中心とした身体の前方向回転、②四肢の振込動作、③脚の伸展と報告されている<sup>1)</sup>。特に①において、踏切接地時から踏切脚膝関節が最大に屈曲した時点まで (TD–MKF:踏切前半) において、女子一流選手では足部を

表3 走幅跳における踏切時のキネマティクス

Variables	2010 HIC	2011 HIC
CG velocity (m/s)		
HV <sub>TD</sub>	8.63	8.59
VV <sub>TD</sub>	-0.22	-0.19
V <sub>TD</sub>	8.63	8.59
VV <sub>MKF</sub>	1.92	2.05
HV <sub>TO</sub>	6.92	7.19
VV <sub>TO</sub>	2.92	3.04
V <sub>TO</sub>	7.51	7.80
HV <sub>TD-TO</sub>	-1.70	-1.40
VV <sub>MKF-TO</sub>	1.00	0.99
$\theta$ CG <sub>TO</sub>	22.8	22.9
CT (s)	0.133	0.108
Hip angle (deg)		
$\theta$ H <sub>TD</sub>	140.0	152.0
$\theta$ H <sub>MKF</sub>	157.1	159.0
$\theta$ H <sub>TO</sub>	199.3	195.7
$\theta$ H <sub>TD-TO</sub>	59.3	43.7
Knee angle (deg)		
$\theta$ K <sub>TD</sub>	159.1	164.7
$\theta$ K <sub>MKF</sub>	148.0	143.6
$\theta$ K <sub>TO</sub>	171.9	163.6
$\theta$ K <sub>TD-MKF</sub>	-11.0	-21.0
$\theta$ K <sub>MKF-TO</sub>	23.8	20.0
Knee angular velocity (deg/s)		
$\omega$ K <sub>le</sub>	-287.9	-532.4
$\omega$ K <sub>ext</sub>	501.5	447.6
Ankle angle (deg)		
$\theta$ A <sub>TD</sub>	131.8	128.0
$\theta$ A <sub>MKF</sub>	112.9	102.8
$\theta$ A <sub>TO</sub>	150.5	135.2
Trunk angle (deg)		
$\theta$ T <sub>TD</sub>	-5.3	-9.7
$\theta$ T <sub>TO</sub>	-3.4	-6.4
$\theta$ T <sub>TD-TO</sub>	1.8	3.3
Foot angle (deg)		
$\theta$ F <sub>TD</sub>	17.4	8.2
$\theta$ F <sub>MKF</sub>	-1.1	-2.9
$\theta$ F <sub>TO</sub>	-62.7	-47.4
$\theta$ F <sub>TD-TO</sub>	80.1	55.6
Thigh angle of lead leg (deg)		
$\theta$ THL <sub>TD</sub>	-6.8	2.7
$\theta$ THL <sub>MKF</sub>	44.9	52.0
$\theta$ THL <sub>TO</sub>	91.7	84.4
Leg angle (deg)		
$\theta$ L <sub>TD</sub>	28.6	24.6
$\theta$ L <sub>TO</sub>	-26.5	-22.7

HV : horizontal velocity, VV : vertical velocity, V : velocity  
 CT : contact time,  $\theta$ CG<sub>TO</sub> : takeoff angle  
 TD : touchdown, MKF : maximal knee flexion, TO : takeoff

中心とした身体の前方回転が生じて鉛直初速度 (VV<sub>TO</sub>) の66%以上を獲得していた<sup>13)</sup>ことが報告されており、踏切前半の重要性が指摘されている。本研究において、VV<sub>MKF</sub> は2010年と2011年ではそれぞれ1.92m/sと2.05

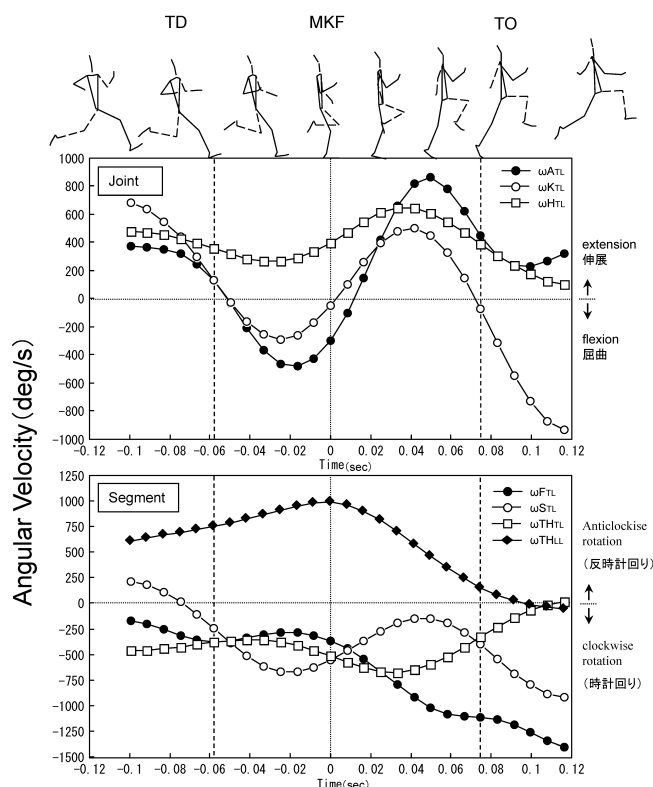
m/sであり、これらを各年のVV<sub>TO</sub>で割ると67%となりLees et al.<sup>13)</sup>が報告する値とほぼ一致した。したがって、YHも踏切前半の鉛直速度の獲得は身体の前方回転によるものと推察される。そして、身体の前方回転を生み出すためには踏切接地時に踏切脚を身体の前方へ接地する必要がある。そこで、身体重心からどの程度前方へ接地しているかという指標である踏切接地時の脚角度 ( $\theta$ L<sub>TD</sub>)をみると2010年は28.6deg、2011年は24.6degであり、2011年の方が身体により近い位置で接地していることを示した。しかし、Graham-Smith and Lees<sup>9)</sup>は、 $\theta$ VV<sub>MKF</sub>は $\theta$ L<sub>TD</sub>と有意な関係は認められなかったが踏切接地時の膝関節角度 ( $\theta$ K<sub>TD</sub>)との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告し、 $\theta$ L<sub>TD</sub>は水平速度の減速量 (HV<sub>TD-TO</sub>)との間に有意な負の相関関係が認められたことを報告している。これらのことは、身体の前方回転によって鉛直速度を獲得するためには身体の前方に接地する際に踏切脚の膝関節がより伸展位であること、さらに身体の近くに接地するほど水平速度の減速が小さいことを意味している。本研究において、踏切接地時の膝関節角度 ( $\theta$ K<sub>TD</sub>)をみると2010年では159.1deg、2011年では164.7degであり、2011年の方が伸展位であった。したがって、上述した2011年の方が水平速度の減速 (HV<sub>TD-TO</sub>)が小さく、鉛直初速度 (VV<sub>TO</sub>)が高かったことは、Graham-Smith and Lees<sup>9)</sup>の報告を指示するように身体の近くに接地し、接地時の膝関節が伸展位であったためと考えられる。

また、鉛直初速度を獲得するには、最終的に足部を通して身体で発揮した力を地面に伝えることによって達成される。足部の動作について、踏切中の足部の動作範囲 ( $\theta$ F<sub>TD-TO</sub>)と鉛直初速度と有意な負の相関関係にあり、この角度が小さいほど鉛直初速度が高かったことが報告されている<sup>16)</sup>。本研究における $\theta$ F<sub>TD-TO</sub>は、2010年では80.1deg、2011年では55.6degであったことから、2011年における高い鉛直初速度の獲得には、足部の動作範囲を小さくし、身体で発揮した力が効果的に地面に伝わったものと考えられる。

以上のキネマティクスに関する結果は、踏切接地時、膝関節最大屈曲時および離地時といったある時点での動作およびその間の動作範囲を示したのみで、踏切中に関節やセグメントがどのような速度をもって動作を遂行していたかを示すものではない。そこで、2010年と2011年の踏切における関節角速度およびセグメント角速度について比較検討することにした。

図3にHIC2010年、図4にHIC2011年の下肢三関節およびセグメント角速度を踏切接地5コマ前および踏切離地5コマ後までを示した。表2にも示したように、踏切時間 (CT) は2010年では0.133sec、2011年では0.108

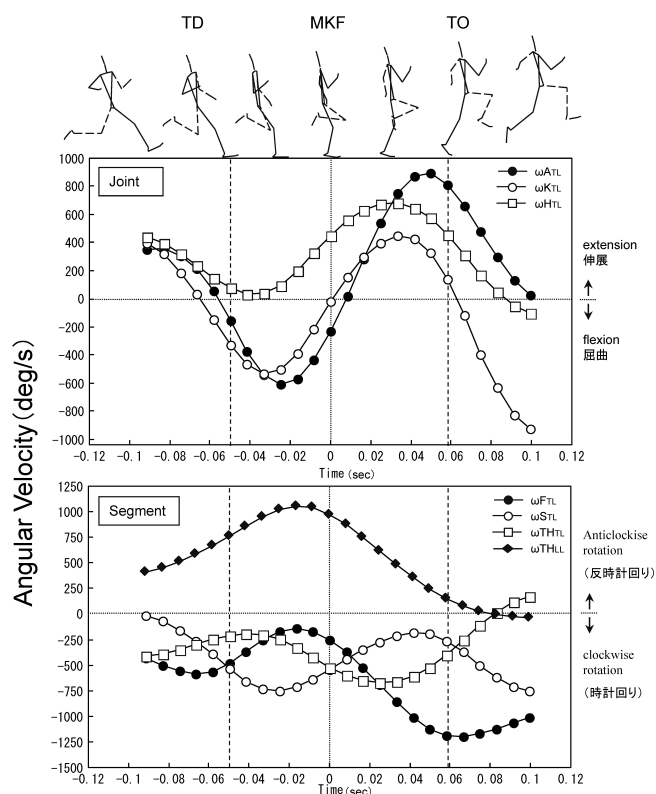




TD: touch down(踏切接地時), MKF: maximal knee flexion(踏切脚の膝関節最大屈曲時), TO: take off(踏切離地時)  
A: ankle(足関節), K: knee(膝関節), H: hip(股関節), F: foot(足部), S: shank(下腿), TH: thigh(大腿)  
TL: takeoff leg(踏切脚), LL: lead leg(振上脚)

図3 HIC2010における踏切時の下肢三関節角速度  
(上) およびセグメント角速度 (下)

secであり、2011年の踏切はより短時間で遂行された。そして両年の踏切の踏切接地から踏切離地 (TD-TO) までの角速度を比較すると、角速度それぞれ高低の違いはあるものの変化パターンには大きく違いはなかったが、踏切接地時 (TD) 付近の足関節 ( $\omega_{ATL}$ ) および膝関節 ( $\omega_{KTL}$ ) 角速度に特徴的な違いが認められた。それは、2010年では両関節角速度とも正の値を示し、伸展しながら接地をしていたが、2011年は負の値を示し、接地直前から屈曲しながら接地をしていた。踏切前半 (TD-MKF) は、衝撃力や助走で得たエネルギーを吸収するために足関節や膝関節が屈曲し、これらの関節周りの伸展筋群がエキセントリック収縮によって大きなパワーは発揮する<sup>2)</sup>。そのため、2010年は接地後に動作の切り替えが起きていることから衝撃に耐える準備が遅れていると考えられる。また、2010年の踏切準備が遅れていることさらに示すものとして、下腿セグメント角速度 ( $\omega_{STL}$ ) において接地直前にプラスの値で反時計回りの回転、すなわち下腿を前方へ振り出している動作を示したのに対し、2011年ではこの動作が認められなかった。このような動作の違いを生み出す要因については、踏切中の動作のみでは説明することができず、踏切準備動作に



TD: touch down(踏切接地時), MKF: maximal knee flexion(踏切脚の膝関節最大屈曲時), TO: take off(踏切離地時)  
A: ankle(足関節), K: knee(膝関節), H: hip(股関節), F: foot(足部), S: shank(下腿), TH: thigh(大腿)  
TL: takeoff leg(踏切脚), LL: lead leg(振上脚)

図4 HIC2011における踏切時の下肢三関節角速度  
(上) およびセグメント角速度 (下)

における踏切一步前などについても比較検討することが必要であると考えられた。

以上の結果については2試合のそれぞれ1試技を比較したのみであったことから、選手個人の他試技については検討していない。今後は、選手個人内にみられる記録の劣る試技との比較をして成功試技の要因について検討したり、踏切動作のみでなく助走や踏切準備動作などの技術についてより詳細に分析する必要がある。そして、大学4年間といった長期的にみた縦断的研究を実施し、今後の技術トレーニングの指導に関する知見を増やしていく必要がある。

#### (4) YHの今後の課題

以上の結果から、走幅跳の跳躍距離を大きくするための指標として、跳躍選手の競技記録に関わる体力的な要因である3種類の垂直跳パフォーマンスを日常のトレーニングによって向上させていくことが必要条件となる。また、図子<sup>24)</sup>が報告した日本一流選手6 m61を跳んだ選手のRJ-indexが3.63m/sであったことから、6 m60以上を記録するための条件としてこの値近くまでのジャンプ能力を有しておくべきであろう。

また、キネマティクスの観点では、HIC2011年において跳躍距離は5 m96であり、その時の踏込速度は8.59m/sであった。上述のように跳躍距離は助走速度と高い相関関係にあることから、現時点での自己記録更新には踏切時の速度を高めることは重要な要素となる。Lees et al.<sup>13)</sup>は、女子一流選手の跳躍距離における22試技の平均値である6 m51に対する踏込速度の平均値は8.75m/sであったことを報告している。したがって、YHが6 m50以上を跳躍するにはまず助走速度を高め、踏込速度が8.75m/sを超えることが必要であろう。しかし、助走速度が高くなると、踏切時間も短くなり、それに伴う踏切技術が必要になると考えられるため、助走速度を高めるトレーニングと同時にそれに対応する踏切トレーニングを実施していくことが今後の課題となる。

また、YHは北海道を拠点にしてトレーニングをしており、このような積雪寒冷地である北方圏の選手の年間トレーニングサイクルは本州、四国および九州の選手と異なっているものと考えられる。このことを踏まえて、北方圏のトレーニング期および試合期による競技記録と基礎的ジャンプ能力の変遷についても検討していくことがこの地域での効果的なトレーニング方法を確立していく上で必要であると考えられる。

#### IV. ま と め

本研究では、北海道出身の日本学生一流女子走幅跳選手の2010年から2011年の2年間の競技記録の変遷と各種垂直跳のパフォーマンスの変化との関連性について検討し、合わせて2年間のうちで踏切のキネマティクスの変化についても事例的に報告し、走幅跳の踏切における体力および技術トレーニングの示唆を得ることを目的とした主な結果は、以下の通りである。

- 1) 3種類の垂直跳パフォーマンスは、それぞれ身体コンディションによって同様な変動様相を示した。
- 2) 走幅跳の競技結果と垂直跳パフォーマンスは、両者は対応しながら変化している傾向にあった。
- 3) 北海道学生陸上競技対校選手権大会2010年と2011年における踏切のキネマティクスの比較から、踏込速度( $V_{TD}$ )がほぼ同じであったにもかかわらず水平速度の減速量( $HV_{TD-T0}$ )、鉛直初速度( $VV_{T0}$ )および踏切初速度( $V_{T0}$ )には差があった。

以上のことから、日本学生一流女子走幅跳選手のトレーニング課題として、さらにジャンプ能力を高めることおよび踏切の助走速度を高めることの目標値を明確にすることができた。

#### 文 献

- 1) 阿江通良：高くとぶための跳に関する運動生力学的研究－踏切における身体各部の貢献とメカニズムについて－。昭和56年度筑波大学大学院教育学博士論文，1982。
- 2) 阿江通良，村木征人，石川宣治，金高宏文，伊藤信之：トルクおよびパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能。陸上競技紀要，2：2－9，1989。
- 3) 阿江通良：日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数。J.J.Sports Sci.，15：155-162，1996。
- 4) 新井宏昌，渡邊信晃，高本恵美，眞鍋芳明，前村公彦，岩井浩一，宮下 憲，尾縣 貢：国内一流女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化。体育学研究，49：335－346，2004。
- 5) 遠藤俊典，田内健二，木越清信，尾縣 貢：リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究。体育学研究，52：149-159，2007。
- 6) 深代千之：走幅跳と三段跳のBiomechanics。J.J.Sports Sci.2 (8)：600-613，1983。
- 7) 深代千之：いかに跳能力を高めるか！～陸上・跳躍のトレーニング考～。トレーニング科学，4 (特集)：89－95，1992。
- 8) 深代千之，若山章信，小嶋俊久，伊藤信之，新井健之，飯干 明，淵本隆文，湯 海鵬：走幅跳のバイオメカニクス。世界一流競技者の技術。ベースボールマガジン社，東京，pp135-151，1994。
- 9) Graham-Smith, P. and Lees, A：three dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. J. Sports Sci, 23：891-903，2005。
- 10) Hay, J.G.：The biomechanics of the long jump. Exerc. Sports Sci. Reviews., 14：401-446，1986。
- 11) 伊藤 章：岩本敏恵選手の100mの記録向上にともなう疾走動作の変化トレーニングの考え方。トレーニング科学，10：145-154，1999。
- 12) 小山宏之，村木有也，吉原 礼，永原 隆，柴山一仁，大島雄治，高本恵美，阿江通良：走幅跳のバイオメカニクスの分析。世界一流競技者のパフォーマンスと技術。財団法人日本陸上競技連盟，東京，pp 154-164，2009。
- 13) Lees, A., Fowler, N. and Derby, D.：A biomechanical analysis of the last stride, touch-down, and takeoff characteristics of the women's long jump. J. Sports Sci, 11：303-314，1993。

- 14) Luhtanen, P. and Komi, P. V. : Mechanical power and segmental contribution to force impulses in Long Jump. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 41 : 267-274, 1979.
- 15) 大宮真一, 木越清信, 尾縣 貢 : 小学生のリバウンドジャンプ能力が走り幅跳び能力に及ぼす影響—小学校6年生を対象として—. *体育学研究*, 54 : 55-66, 2009.
- 16) 大宮真一, 木越清信, 尾縣 貢 : 小学校高学年児童におけるリバウンドジャンプ能力と走り幅跳びの鉛直速度および踏切動作との相互関係. *スポーツ教育学研究*, 30 : 1-12, 2010.
- 17) 杉田正明, 安部 孝, 八田秀雄, 川上泰雄, 小林寛道 : 一流短距離選手の体力的特性とパフォーマンス. *東京大学教養学部体育学紀要*, 28 : 37-44, 1994.
- 18) 高石昌弘, 樋口 満, 小島武次 : からだの発達 - 身体発達学へのアプローチ -. 大修館書店, 東京, 1981.
- 19) Wells, R.P. and Winter, D. A. : Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In : *Human Locomotion 1* (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics). pp.92-93, 1980.
- 20) 吉田孝久, 大山卞圭悟, 宮地 力, 村木征人 : 跳躍競技者における両脚・片脚スクワット運動の負荷特性 : 両脚・片脚レッグプレスとの比較から. *スポーツ方法学研究*, 22 : 29-39, 2008.
- 21) 図子浩二, 高松 薫, 古藤高良 : 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. *体育学研究*, 38 : 265-278, 1993.
- 22) 図子浩二, 高松 薫 : バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因-筋力および瞬発力に着目して-. *体力科学*, 44 : 147-154, 1995a.
- 23) 図子浩二, 高松 薫 : リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因 : 下肢の各関節の指導と着地に対する予測に着目して. *体育学研究*, 40 : 29-39, 1995b.
- 24) 図子浩二 : トレーニングマネジメント スキルアップ革命 スポーツトレーニングの計画がわかる⑥—スポーツトレーニングにおける測定評価—. *コーチング・クリニック* (6) : 27-33, 2000.
- 25) 図子浩二 : スポーツ練習による動きが変容する要因—体力要因と技術要因に関する相互関係—. *バイオメカニクス研究*, 7 (4) : 303-312, 2003.
- 26) 図子浩二 : 跳躍動作とその指導・トレーニング-ブライオメトリックトレーニングに注目して-. *トレーニング科学*, 18 (4) : 297-305, 2006.